СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ





УДК 624.011

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-77-83

К вопросу определения модуля упругости бамбука Мосо при растяжении

С.В. Скуратов ✉, **С.В. Щуцкий**, **А.А. Лиманцев**, **Сун Сюаньчжень**

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

✉ svskuratov@yandex.ru

Аннотация

Введение. Указывается на большое количество работ, посвященных исследованиям физико-механических свойств бамбуков, способов узловых соединений стержней из бамбука. Перечислены основные «бамбуковые» страны, в которых в качестве конструкционного материала бамбук набирает популярность в современной строительной сфере. С развитием современных технологий обработки бамбук находит широкое применение в строительной отрасли, в том числе при изготовлении плит и досок, а также при декорировании и внутренней отделке помещений в восточном стиле. Результаты исследований физико-механических свойств различных видов бамбуков, проведенных учеными разных стран, в настоящее время объединены в три издания ISO, регламентирующих правила применения бамбуков в строительстве.

Материалы и методы. Рассмотрение макроструктуры бамбука позволяет охарактеризовать высокие механические свойства, присущие естественным и искусственным полимерам. Подобный подход к рассмотрению бамбука и древесины как природных полимеров позволяет использовать при определении механических характеристик бамбука методики, применяемые к испытаниям древесины и конструкционных пластмасс. Изготовлены две серии образцов по пять штук в каждой. Составлены таблицы геометрических характеристик сечений образцов. Предложено конструктивное решение, связанное с усилением лопаток образцов эпоксидной композицией с целью повышения надежности закрепления образцов в захватах испытательной установки.

Результаты исследования. Для определения модуля упругости бамбука при растяжении разработана и изготовлена экспериментальная установка, состоящая из двух захватов, в которые помещается испытываемый образец. Через нижний захват производится приложение испытательной нагрузки посредством стальной тяги с нагрузочной платформой, на которую укладываются тарированные штучные грузы. Для определения величины абсолютного удлинения базы образца при растяжении используются контактные прогибомеры, в качестве которых применены индикаторы часового типа фирмы «Mitutoyo» (Япония).

Обсуждение и заключение. Приведена формула для определения модуля упругости при растяжении. За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение модуля упругости испытываемых образцов и среднее квадратичное отклонение результатов модуля упругости. Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о достоверном совпадении экспериментальных значений модуля упругости бамбука Мосо при растяжении с известными в технической литературе значениями.

Ключевые слова: модуль упругости, бамбук Мосо, образец, растяжение, древесина, конструкционные пластмассы

Для цитирования. Скуратов С.В., Щуцкий С.В., Лиманцев А.А., Сун Сюаньчжень. К вопросу определения модуля упругости бамбука Мосо при растяжении. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий.* 2023;2(4):77–83. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-77-83

Original article

On the Issue of Determining the Tensile Elastic Modulus of Moso Bamboo

Sergey V. Skuratov ✉, **Sergey V. Shchutsky**, **Aleksey A. Limantsev**, **Song Xuanzhen**

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ svskuratov@yandex.ru

Abstract

Introduction. Numerous works devoted to studying the physical and mechanical properties of bamboo and the methods of bamboo rods' node connections are identified. The main "bamboo" countries, where bamboo is becoming popular as a structural material in the modern construction industry, are listed. Due to development of the modern processing technologies, bamboo is widely used in the construction industry, including the slab and board manufacture, as well as the decoration and indoor finishing in the oriental style. The results of studying the physical and mechanical properties of various types of bamboo conducted by the scientists from different countries are currently integrated into three ISO standards regulating the rules of bamboo application in construction.

Materials and Methods. Studying the bamboo macrostructure makes it possible to specify the superior mechanical properties attributed to natural and artificial polymers. Such an approach to studying bamboo and wood as natural polymers makes it possible to apply the methods used in testing the wood and engineering plastics to determining the mechanical properties of bamboo. Two sets of specimens each consisting of five items have been produced. The geometric specification tables of the specimens' cross-sections have been drawn up. A design solution has been proposed to strengthen the head of a specimen with the epoxide compound aiming to improve reliability of fixing a specimen in the test unit grippers.

Results. To determine the bamboo tensile elastic modulus, a test unit consisting of two grippers, into which a test specimen is placed, has been developed and manufactured. Through the lower gripper, the test load has been applied by means of a steel pull rod with a loading platform, on which the calibrated single-piece loads have been put. To determine the magnitude of the absolute elongation of the specimen base in tension, the contact deflectometers, i.e. the Mitutoyo dial gauges (Japan), have been used.

Discussion and Conclusion. The formula for determining the tensile elastic modulus is given. Finding the arithmetic mean value of the tested specimens' elasticity modulus and the mean square deviation of the elasticity modulus is considered to be the result of the test. The analysis of the obtained results allows us to conclude that the experimental values of the tensile elastic modulus of Moso bamboo validly coincide with the values known in the technical publications.

Keywords: modulus of elasticity, moso bamboo, specimen, tensile, wood, engineering plastics.

For citation. Skuratov SV, Shchutsky SV, Limantsev AA., Xuanzhen Song. On the Issue of Determining the Tensile Elastic Modulus of Moso Bamboo. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(4):77–83. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-4-77-83

Введение. В практике современного зарубежного проектирования и строительства обоснованный интерес вызывает бамбук как альтернативный экологический материал 21 века. Большое количество работ посвящено исследованиям физико-механических свойств бамбуков, способов узловых соединений стержней из бамбука. Благодаря известным архитекторам и конструкторам бамбук подтвердил свои технические и эстетические преимущества при возведении сооружений различного назначения [1–3, 6, 8, 16, 17].

Основные «бамбуковые» страны — это Китай, Индия, Мьянма, Тайланд, Бангладеш, Камбоджа, Вьетнам, Япония, Индонезия, Малайзия, Филиппины, в которых бамбук в качестве конструкционного материала, благодаря своим преимуществам и оригинальным свойствам, набирает популярность в современной строительной сфере. В местах естественного произрастания древовидные бамбуки имеют широкое применение на протяжении веков. Из них возводят здания, сооружения, мосты, изготавливают водопроводные трубы, мебель, музыкальные инструменты, оружие и даже употребляют в пищу. С развитием современных технологий обработки бамбук находит широкое применение в строительной отрасли. Бамбук используют как целиком, в виде стволов с минимальной обработкой, так и после процесса механической обработки. Бамбук применяют для декорирования помещений в восточном стиле — стены, полы, потолки, элементы обустройства и мебель. Из бамбуковой древесины изготавливают плиты и доски. Также бамбук можно использовать в качестве кровельного материала: разработана технология реза с получением бамбуковой черепицы при условии нанесения защитных покрытий.

Физико-механические свойства бамбуков зависят от следующих факторов: географического местоположения произрастания, рода и вида бамбука, строения ствола, плотности, влагосодержания. При этом прочность на растяжение, сжатие, а также модуль упругости сухого бамбукового материала выше, чем свежего[1] [4, 5, 9, 10–13].

Результаты исследований физико-механических свойств различных видов бамбуков, проведенных учеными разных стран, в настоящее время позволяют объединить их в три издания ISO (международная организация по стандартизации), касающиеся строительных норм и правил применения бамбуков в строительстве[2,3] [14, 15]. Следует отметить, что по конструкциям из дерева в настоящий момент имеется более 300 нормативных документов и руководств по расчету и изготовлению. Это указывает на существенное отставание в выпуске руководств по использованию бамбука как конструкционного материала в строительстве. Также отсутствуют технические условия и характеристики отдельных видов бамбука по сортовым группам, отсутствуют характеристики поведения бамбука по изменениям прочности и устойчивости при пожаре.

Материалы и методы. На выбор материала для испытаний повлиял тот факт, что в природе выявлено более 1600 видов бамбука, из них наибольшее распространение получил бамбук Мосо, обладающий высокими механическими свойствами и привлекательным внешним видом. В результате изучения процесса роста бамбука Мосо установлено: период роста составляет 4–6 лет, диаметр стебля достигает 10–15 см, толщина стенок стебля бамбука варьируется от 9 до 12 мм, плотность находится в пределах 0,626–0,81 г/см^3.

Рассмотрение макроструктуры бамбука позволяет выявить три части: внешний слой бамбука, основные ткани и внутренний слой. Внешний слой бамбука имеет плотные сосудистые пучки с высоким содержанием волокон. Эту часть структуры можно охарактеризовать такими механическими свойствами, как плотность, твердость, прочность и высокий модуль упругости, что делает бамбук схожим со стеклопластиком.

Бамбуковый внутренний слой имеет небольшое количество сосудистых пучков и более тонкие клетки. За исключением небольшого количества сосудистых пучков они обеспечивают более высокую прочность, другие же свойства бамбука схожи со свойствами древесины. Но у него есть явные преимущества, а именно: стабильность размеров тонкостенных клеток, поэтому в результате получается прочный и водоустойчивый материал.

Подобный подход к рассмотрению бамбука и древесины как природных полимеров позволяет использовать при определении механических характеристик бамбука методики, применяемые к испытаниям древесины и конструкционных пластмасс.

Основываясь на рекомендациях ГОСТ 21554.5-78 «Пиломатериалы и заготовки. Метод определения предела прочности при продольном растяжении», к испытаниям было подготовлено пять бамбуковых образцов. В силу природных особенностей бамбука геометрические размеры образцов соответствуют требованиям ГОСТ только в одной плоскости. Размер по высоте образцов h регламентирован толщиной стенки стебля бамбука, кроме того, сечение образцов имеет лоткообразную форму. Для осуществления надежного крепления образца в захватных устройствах растягивающего механизма предлагается усиление лопаток образца эпоксидной композицией.

При изготовлении образцов было учтено то обстоятельство, что «суставы», расположенные по длине стебля бамбука, размещались в зонах захватных устройств. По результатам испытаний, приведенных в [7], определено, что образцы без «суставов» и с «суставом» в середине образца имеют различную прочность. Образцы с «суставом» показали прочность на растяжение на 2,4 % больше, чем без «суставов». Разрушение в 90 % случаев произошли по сечению без «сустава». Это обстоятельство было учтено в изготовленных образцах путем исключения наличия «суставов» в рабочей зоне образцов.

При изготовлении образцов в связи с малыми размерами поперечных сечений рабочей зоны радиусом кривизны поверхности исходных заготовок можно пренебречь, считая сечение прямоугольным с размерами $b \times h$. На основании замеров параметров исходных заготовок бамбука и после их механического раскроя и обработки определяются геометрические характеристики сечения образцов, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики сечения образцов бамбука

№ п/п образца, $i = 1 \ldots 5$	Ширина образца, b_i, см	Высота образца, h_i, см	Площадь поперечного сечения образца $F_i = b_i \times h_i$, см^2
1	0,47	0,48	0,2256
2	0,41	0,41	0,1681
3	0,42	0,41	0,1722
4	0,48	0,48	0,2304
5	0,48	0,50	0,24

[1] JG/T199-2007. Testing methods for physical and mechanical properties of bamboo used in building.
[2] ISO/TR. 22157-1. Bamboo — Determination of physical and mechanical properties — Part 1: Requirement.
[3] ISO/TR. 22157-2. Bamboo — Determination of physical and mechanical properties — Part 2: Laboratory Manual.

На основании рекомендаций по испытанию конструкционных пластмасс для проведения испытаний с целью экспериментального определения модуля упругости бамбука Мосо при растяжении также была подготовлена серия из пяти бамбуковых образцов (i = 6…10).

Стандартные образцы на растяжение из конструкционных пластмасс имеют некоторые недостатки. Головка (лопатка) образца обычно при помощи парных клиньев зажимается в захватах испытательной машины. В процессе нагружения образцы вблизи зажимов кроме напряжений растяжения испытывают напряжения сжатия в поперечном направлении. Таким образом, испытываемый образец по длине нагружен неравномерно и больше всего вблизи зажимов. При испытании высокопрочных пластмасс (СВАМ, АГ-4С, ДСП и других) образцы либо вытягиваются из зажимов, либо разрушаются не в рабочей зоне, а в головке (лопатке). Для исключения указанных недостатков предлагались различные виды образцов. В частности, для испытания высокопрочных пластмасс применяется стандартный образец с усиленной головкой (лопаткой). Головка (лопатка) стандартного образца с обеих сторон оклеивается стеклохолстом ХЖК в один слой или ВВ в два слоя на полиэфирной смоле ПН.

Если плотность образцов рассматриваемого типа меньше 0,15 г/см^3, то головки образца должны быть срезаны под острым углом и усилены накладками, приклеенными клеем ВИАМ-Б3 к срезанным местам. Эти накладки, имеющие форму трехгранных призм, изготавливают из сухой древесины или пенопласта, плотность которого больше плотности испытываемого образца не менее, чем на 0,1 г/см^3.

При испытании древесины при продольном растяжении допускается применять образцы, состоящие из призмы сечением 4×20 мм и длиной 350 мм и приклеенных к ее концам двусторонних боковых накладок толщиной 8 мм и формой в соответствии с ГОСТ 16483.23-73 «Древесина. Метод определения предела прочности при растяжении вдоль волокон».

В соответствии с вышесказанным для осуществления надежного крепления образцов в захватных устройствах установки, создающей продольное растяжение, и для образцов по аналогии с древесиной, и для образцов по аналогии с конструкционными пластмассами выполняется усиление головок (лопаток) бамбуковых образцов эпоксидной композицией. Для этого заготовленные образцы размещаются в специальных формах, в которых выполняется омоноличивание головок (лопаток) образца. Таким образом, получаются образцы для проведения испытаний на продольное растяжение по аналогии с древесиной (первый тип) и конструкционными пластмассами (второй тип).

Для повышения надежности закрепления образцов в захватах испытательной установки на лопатки образцов обоих типов (аналог древесины и аналог пластмасс) при помощи эпоксидной композиции наклеены полосы наждачной бумаги. Это условие принято также в связи с тем, что длина лопаток образцов второго типа (аналог пластмасс) составляет 60 мм (в отличие от длины лопаток образцов первого типа (аналог древесины) — 100 мм). Повышение сцепления за счет наклейки наждачной бумаги на лопатки образцов позволяет эффективно использовать захваты при испытании образцов обоих типов.

На основании замеров параметров исходных заготовок бамбука и после их механического раскроя на образцы второго типа определяются геометрические характеристики сечения образцов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики сечения образцов бамбука после раскроя

№ п/п образца, i = 6…10	Наружный диаметр/ радиус D_i/R_i, см	Внутренний диаметр/ радиус d_i/r_i, см	Высота образца $h_i=R_i-r_i$, см	Ширина образца, b_i, см	$\alpha_i = \frac{r_i}{R_i}$	Площадь поперечного сечения образца F_i, см^2
6	2,99/1,495	2,39/1,195	0,3	1,5	0,799	0,424
7	2,88/1,44	2,26/1,13	0,31	1,47	0,785	0,426
8	3,30/1,165	2,66/1,33	0,32	1,42	0,806	0,424
9	3,59/1,795	2,69/1,345	0,45	1,52	0,749	0,617
10	3,45/1,725	2,81/1,405	0,32	1,48	0,814	0,444

Результаты исследования. Для определения модуля упругости бамбука при растяжении была разработана и изготовлена экспериментальная установка, состоящая из двух захватов, в которые помещается испытываемый образец. Верхний захват представляет собой две стальные пластины из полосы 40×4 мм, между которыми располагается верхняя лопатка образца, усиленная омоноличиванием эпоксидной композицией, с наклеенными полосками наждачной бумаги. Стальные пластины стягиваются системой болтов, обеспечивая надеж-

ное закрепление верхней лопатки образца. Для увеличения сцепления образца с захватами на внутренние поверхности пластин также наклеены полосы наждачной бумаги. Образивная поверхность обращена в сторону образца. Между двумя стальными пластинами захвата размещается третья пластина, соединенная болтом с пластинами верхнего захвата установки. Третья пластина предназначена для осуществления подвеса верхнего захвата. Аналогично с решением верхнего захвата выполняется конструкция нижнего захвата установки (симметрично относительно горизонтальной поперечной оси образца). Через третью пластину нижнего захвата производится приложение испытательной нагрузки посредством стальной тяги с нагрузочной платформой, на которую укладываются тарированные штучные грузы.

Для определения величины абсолютного удлинения базы образца при растяжении используются контактные прогибомеры, в качестве которых применены два индикатора часового типа фирмы «Mitutoyo» (Япония).

Обсуждение и заключение. Модуль упругости каждого образца вычисляют по формуле:

$$E_{p,i} = \frac{\Delta P \cdot l}{\Delta l \cdot F_i},$$

где ΔP — приращение нагрузки; l — база образца; F_i — площадь поперечного сечения образца; Δl — среднее арифметическое из приращений деформации, вычисленное по данным трех последних замеров; $i = 1…5, 6…10$ — номер образца.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое значение модуля упругости испытываемых образцов и среднее квадратичное отклонение результатов модуля упругости, которые вычисляют по формулам:

$$\mathrm{E_p} = \frac{\sum_{i=1}^{5} \mathrm{E}_{p,i}}{i};$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{5} (\mathrm{E}_{p,i} - \mathrm{E}_p)^2}{i-1}}.$$

Анализ полученных результатов испытаний бамбука Мосо при растяжении позволяет сделать вывод о достоверном совпадении экспериментальных значений модуля упругости при растяжении с известными в технической литературе значениями [7].

Список литературы

1. Алямовский А.А. *Инженерные расчеты в SolidWorksSimulation.* Москва: ДМК Пресс; 2010. 161 с.

2. Verzhbovsky G., Skuratov S., Shutskiy S. On Determining the Elasticity Modulus of Moso Bamboo Based on the Static Bend Test Results by Analogy with Wood and Engineering Plastics. *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022;510:1941–1948. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_200

3. Крицин А.В., Лихачева С.Ю., Торопов А.С., Лобов Д.М., Тихонов А.В. Исследования на прочность малоразмерных образцов из бамбукового композита. *Приволжский научный журнал.* 2014;3:26–30

4. Skuratov S., Danilova-Volkovskaya G., Yanukyan E., Beilin M. Bamboo as a Unique Ecological Building Material of the XXI Century: Bamboo Description, Bamboo Physical and Mechanical Properties Studies. *Materials Science Forum.* 2021;1043:149–154. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.149

5. Соланилья Медина Й.М. Архитектурное проектирование из бамбука как экологического альтернативного материала XXI века. *Architecture and Modern International Technologies.* 2018;1(42):201–211. URL: https://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/15_solanilla_medina/index.php (дата обращения: 17.07.2023)

6. Яо Вэй. *Разработка и расчет узловых соединений несущих пространственных стержневых конструкций из бамбука.* Дис. канд. тех. наук. Санкт-Петербург; 2015. 163 с.

7. Яо Вэй, Шмидт А.Б. Применение бамбука в строительстве. *Вестник гражданских инженеров.* 2013;2(37):71–75.

8. Bai Wenfeng, Jue Liu. Protection and Revival of the Dai. *Industrial Architecture, Beijing.* 2007;37:38–411.

9. Sharma B., Gatóo A., Bock M., Mulligan H., Ramage M. Engineered Bamboo: State of the Art. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Construction Materials.* 2015;168(2):57–67. https://doi.org/10.1680/coma.14.00020

10. Awalluddin D., Mohd Ariffin M., Osman M., Hussin M., Ismail M., Lee H., et al. Mechanical Properties of Different Bamboo Species. In: *Proceedings of the 6th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF 2017). MATEC Web of Conferences. Volume 138.* Seoul: EDP Sciences Publ.; 2017. P. 01024. https://doi.org/10.1051/matecconf/201713801024

11. Xu Q., Harries K., Li X., Liu Q., Gottron J. Mechanical Properties of Structural Bamboo Following Immersion in Water. *Engineering Structures.* 2014;81:230–239. https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2014.09.044

12. Xie Hao. Research on the Use of Bamboo in Construction, Housing infrastructure of China. Guangdong.

13. Sharma B., Gatoo A., Ramage M. Effect of Processing Methods on the Mechanical Properties of Engineered Bamboo. *Construction and Building Materials.* 2015;83: 95–101. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.048

14. *Bamboo Houses of the Dai People.* Electronic Library of the Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=aKrTKUVvpcCT25B7XDHwX1JMtURym85kiNpLNOXIDomHWiJ3xoD-KREWz21w-PMY3dOp165DYE3bKDLib22yAHFD3C43QVDww_HN501xwdEg (дата обращения 13.11.2023).

15. *Development and Application of Bamboo.* Electronic Library of the Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=i9n_w218Y72aYGxfUHyqPZsrHW6478aL-KyCA_7zRcKQpFoeFLbhwdMZO1TrRshHvR5mmYEr4GG15M8wWm3kus_khGRJ72UMBiIL1Ftj5ZRS (дата обращения 13.11.2023).

16. *The Use of Bamboo Structures.* Electronic Library of the Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=d3Lk3YAO4fL2LkHRNu6JR81qNcdOsWet3B3-3FDW1T4UZFfodUd3mSdWp9WmkPw1albfrDOy8MLDHX8PmWmiaAHf3Q-GufhmnPrLSs2-cV3 (дата обращения 13.11.2023).

17. Lapina AP, Zakieva NI. Bamboo in Modern Construction and Architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1083:012019. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1083/1/012019

References

1. Alyamovsky AA. *Engineering Calculations in SolidWorksSimulation*. Moscow: DMK Press; 2010. 161 p. (In Russ.).

2. Verzhbovsky G, Skuratov S, Shutskiy S. On Determining the Elasticity Modulus of Moso Bamboo Based on the Static Bend Test Results by Analogy with Wood and Engineering Plastics. *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems.* 2022;510:1941–1948. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_200

3. Kritsin AV, Likhacheva SYu, Toropov AS, Lobov DM, Tikhonov AV. Research on Strength of Small Samples of Bamboo Composite. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2014;3:26–30 (In Russ.).

4. Skuratov S, Danilova-Volkovskaya G, Yanukyan E, Beilin M. Bamboo as a Unique Ecological Building Material of the XXI Century: Bamboo Description, Bamboo Physical and Mechanical Properties Studies. *Materials Science Forum.* 2021;1043:149–154. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.149

5. Solanilla Medina Y.M. Architectural Design from Bamboo as an Ecological Alternative Material of the XXI Century. *Architecture and Modern International Technologies*. 2018;1(42):201–211. URL: https://marhi.ru/AMIT/2018/1kvart18/15_solanilla_medina/index.php (accessed: 17.07.2023) (In Russ.).

6. Yao Wei. *Development and Calculation of Nodal Connections of Load-Bearing Spatial Rod Structures Made of Bamboo*. Cand.Sci. (Engineering) Dissertation. Saint Petersburg; 2015. 163 p.

7. Yao Wei, Schmidt AB. Application of Bamboo in Construction. *Bulletin of Civil Engineers*. 2013;2(37):71–75.

8. Bai Wenfeng, Jue Liu. Protection and Revival of the Dai. *Industrial Architecture, Beijing.* 2007;37:38–411.

9. Sharma B, Gatóo A, Bock M, Mulligan H, Ramage M. Engineered Bamboo: State of the Art. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers — Construction Materials.* 2015;168(2):57–67. https://doi.org/10.1680/coma.14.00020

10. Awalluddin D, Mohd Ariffin M, Osman M, Hussin M, Ismail M, Lee H, et al. Mechanical Properties of Different Bamboo Species. In: *Proceedings of the 6th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum (EACEF 2017). MATEC Web of Conferences. Volume 138.* Seoul: EDP Sciences Publ.; 2017. P. 01024. https://doi.org/10.1051/matecconf/201713801024

11. Xu Q., Harries K., Li X., Liu Q., Gottron J. Mechanical Properties of Structural Bamboo Following Immersion in Water. *Engineering Structures.* 2014;81:230–239. https://doi.org/10.1016/J.ENGSTRUCT.2014.09.044

12. Xie Hao. Research on the Use of Bamboo in Construction. Housing Infrastructure of China. Guangdong.

13. Sharma B, Gatoo A, Ramage M. Effect of Processing Methods on the Mechanical Properties of Engineered Bamboo. *Construction and Building Materials.* 2015;83: 95–101. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.048

14. *Bamboo Houses of the Dai People.* Electronic Library of the Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=aKrTKUVvpcCT25B7XDHwX1JMtURym85kiNpLNOXIDomHWiJ3xoD-KREWz21w-PMY3dOp165DYE3bKDLib22yAHFD3C43QVDww_HN501xwdEg (accessed: 13.11.2023).

15. *Development and Application of Bamboo.* Electronic Library of the Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=i9n_w218Y72aYGxfUHyqPZsrHW6478aL-KyCA_7zRcKQpFoeFLbhwdMZO1TrRshHvR5mmYEr4GG15M8wWm3kus_khGRJ72UMBiIL1Ftj5ZRS (accessed: 13.11.2023).

16. *The Use of Bamboo Structures.* Electronic Library of The Bai Du Website. URL: http://wenku.baidu.com/link?url=d3Lk3YAO4fL2LkHRNu6JR81qNcdOsWet3B3-3FDW1T4UZFfodUd3mSdWp9WmkPw1albfrDOy8MLDHX8PmWmiaAHf3Q-GufhmnPrLSs2-cV3 (accessed: 13.11.2023).

17. Lapina AP, Zakieva NI. Bamboo in Modern Construction and Architecture. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1083:012019. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1083/1/012019

Поступила в редакцию 28.08.2023
Поступила после рецензирования 13.09.2023
Принята к публикации 19.09.2023

Об авторах:

Скуратов Сергей Викторович, доцент кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, svskuratov@yandex.ru

Щуцкий Сергей Викторович, заведующий кафедрой «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, svpike1@rambler.ru

Лиманцев Алексей Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Металлические, деревянные и пластмассовые конструкции» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, alimantsev@gmail.com

Сюаньчжень Сун, аспирант кафедры «Сопротивление материалов» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, songxuanzhen_9@live.com

Заявленный вклад соавторов:

Скуратов С.В. — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, доработка текста, корректировка выводов.

Щуцкий С.В. — подготовка текста, формирование выводов.

Лиманцев А.А. — подготовка текста, формирование выводов.

Сун Сюаньчжень — подготовка текста, формирование выводов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Received 28.08.2023
Revised 13.09.2023
Accepted 19.09.2023

About the Authors:

Sergey V. Skuratov, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Metal, Wood and Plastic Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, svskuratov@yandex.ru

Sergey V. Shchutsky, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Metal, Wood and Plastic Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, svpike1@rambler.ru

Aleksey A. Limantsev, Senior Lecturer of the Metal, Wood and Plastic Structures Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, alimantsev@gmail.com

Song Xuanzhen, PhD student of the Strength of Materials Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, songxuanzhen_9@live.com

Claimed contributorship:

Skuratov SV — formulating the main concept, aim and objective of the study, refining the text, correcting the conclusions.

Shchutsky SV — text preparation, formulating the conclusions.

Limantsev AA — text preparation, formulating the conclusions.

Song Xuanzhen — text preparation, formulating the conclusions.

Conflict of interest statement: the authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.